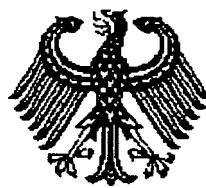


# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 39 104.1  
**Anmeldetag:** 27. August 2002  
**Anmelder/Inhaber:** Crystal Growing Systems GmbH, Hanau/DE  
**Bezeichnung:** Kristallzüchtungsofen, insbesondere Vertical-Bridgman- oder Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofen mit einem Mantelheizer und Verfahren zur Regelung der Heizleistung des Mantelheizers  
**IPC:** C 30 B 11/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 07. August 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "M. Klostermeyer".

Klostermeyer

## **Beschreibung**

### **Kristallzüchtungsofen, insbesondere Vertical-Bridgman- oder Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofen mit einem Mantelheizer und Verfahren zur Regelung der Heizleistung des Mantelheizers**

Die Erfindung betrifft einen Kristallzüchtungsofen, insbesondere Vertical-Bridgman- oder Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofen mit einem den Tiegel koaxial umgebenden Mantelheizer und einer Vorrichtung zur Regelung der Heizleistung des Mantelheizers.

Die genannten Öfen dienen der Herstellung von Einkristallen, insbesondere zur Herstellung von Einkristallen bestehend aus III-V-Materialien, z. B. aus GaAs oder InP.

Bekannte Vorrichtungen zur Herstellung von Einkristallen unterschiedlicher Materialien bestehen im Allgemeinen aus Vielzonenöfen, wie sie zum Beispiel in der DE-OS-38 39 97, sowie in den US-Patentschriften US 4,086,424, US 4,423,516 und US 4,518,351 beschrieben sind.

Die sogenannten Mehr- oder Vielzonenöfen gestatten einen variablen Aufbau eines zur Kristallzüchtung geeigneten Temperaturfeldes und dessen Verschiebung entlang der Rotationsachse des Ofens.

Derartige Vorrichtungen sind jedoch sowohl durch einen axialen als auch durch einen radialen Wärmefluss gekennzeichnet, was zu einer variablen Wachstumsgeschwindigkeit und einer ungünstigen Ausbildung der Phasengrenzfläche zwischen der Schmelze und dem Kristall führen kann.

...

Des Weiteren sind Mehr- bzw. Vielzonenöfen aus einer Vielzahl thermischer Bauelemente zusammengesetzt, was bei Wartungsarbeiten einen hohen Demontage- und Montageaufwand erfordert. Mit steigender Zonenzahl erhöht sich auch der Automatisierungsaufwand und die Störungsanfälligkeit der Mehrzonenöfen.

Insbesondere für die Herstellung von Einkristallen mit einem großen Durchmesser, beispielsweise 2", 3", 100 mm, 125 mm, 150 mm, 200 mm und größer, besteht das Problem, dass ein radialer Wärmefluss im Kristall eine Auswirkung auf die Isothermen, d. h. auf die Phasengrenze zwischen der Schmelze und dem Einkristall in vertikaler bzw. axialer Richtung hat.

Außerdem sind Öfen zur Züchtung von Kristallen (meist Halbleiterkristallen aus Verbindungshalbleitern wie GaAs oder InP) nach dem Vertical-Bridgman- oder dem Vertical-Gradient-Freeze-Verfahren bekannt. Beiden Verfahren ist gemeinsam, dass in einem Tiegel aus einem hochtemperaturbeständigen Material wie z.B. pyrolytischem Bornitrid (pBN) das zu kristallisierende Halbleitermaterial aufgeschmolzen wird, wobei ein vertikaler Temperaturgradient mit von oben nach unten abnehmender Temperatur gewährleistet und dass ein kleiner, einkristalliner Keimkristall am Boden des Tiegels, meist in einem dafür vorgesehenen Keimkanal, nicht auf-, sondern nur angeschmolzen wird.

Generell wird die Temperaturverteilung in der Kernzone des Ofens so eingestellt, dass die Isotherme der Schmelztemperatur des zu züchtenden Materials den Bereich des Schmelztiegels horizontal schneidet und dadurch die Position der Phasengrenze, die den Übergang des kristallinen Material unterhalb der Phasengrenze zum geschmolzenen Material oberhalb der Phasengrenze, definiert. Bei einer

...

anschließenden langsamen Abkühlung des gesamten Ofens, verbunden mit einer Verschiebung des vertikalen Temperaturprofils nach oben im Falle des Vertical-Gradient-Freeze, bzw. bei einem langsamen Herausziehen des Tiegels mitsamt Keimkristall und Schmelze nach unten aus dem heißen Bereich des Ofens im Falle des Vertical-Bridgman-Verfahrens, erfolgt eine gerichtete Erstarrung des Halbleitermaterials, wobei der Kontakt mit dem einkristallinen Keimkristall ein ebenfalls einkristallines Wachstum bei der Erstarrung der gesamten Charge initiiert.

Ein für diese Verfahren verwendeter Kristallzüchtungsofen verfügt über einen wassergekühlten, meist druckfesten Kessel, eine elektrische Heizeinrichtung, meist bestehend aus mehreren, einzeln regelbaren Widerstandsheizzonen, sowie eine thermische Isolation zwischen der beheizten Kernzone des Ofens und der gekühlten Kesselwand. Im Inneren der beheizten Kernzone des Ofens befinden sich der Tiegel mit der Schmelze und dem wachsenden Kristall.

Ein Vertical-Bridgman-Kristallzüchtungsofen verfügt darüber hinaus über einen mechanischen, meist elektromotorisch angetriebenen Kristallvorschub mit einer Translations-Durchführung in den Druckkessel, der das langsame Absenken des Kristalls während der Züchtung ermöglicht. Während beim Vertical-Bridgman-Verfahren das langsame Absenken des Tiegels im vertikalen Temperaturprofil des feststehenden Ofens allein die gesamte Prozessführung darstellt, wird beim Vertical-Gradient-Freeze-Verfahren auf eine Bewegung sowohl des Ofens als auch des Tiegels gänzlich verzichtet und die Kristallisation durch das definierte, langsame Reduzieren der Temperaturen der einzelnen Heizzonen unter Aufrechterhaltung des vertikalen Temperaturgradienten erreicht. Bei beiden Ofentypen wird meist eine Temperaturregelung der einzelnen Heizzonen durchgeführt, wobei Thermoelemente oder Pyrometer die

...

Temperaturen an geeigneten Messpunkten im Bereich der jeweiligen Heizzone erfassen.

Für die Kristallzüchtung nach einem der oben beschriebenen Verfahren ist allein ein vertikaler Temperaturgradient in der Kernzone des Ofens erforderlich, um den Phasenübergang zwischen der Schmelze und dem Kristall zu definieren. Dieser vertikale Temperaturgradient ist immer mit einem vertikalen Wärmefluss von oben nach unten durch die Schmelze und den Kristall verknüpft. Im idealen Fall eines rein vertikalen Wärmeflusses über der gesamten Querschnittsfläche des Kristalls wären alle Isothermen und damit auch die Phasengrenze horizontale Ebenen. In einem solchen idealen Fall darf kein radialer Wärmefluss auftreten. Dies könnte z. B. durch eine ideale thermische Isolation erreicht werden, die die Mantelfläche des Tiegels umgibt und die keinen radialen Wärmefluss zulässt. Da es eine solche ideale thermische Isolation nicht gibt, treten immer auch radiale Komponenten des Wärmeflusses auf, so dass die Isothermen im Bereich der Schmelze und des Kristalls gekrümmmt sind und dadurch die Phasengrenze nicht eben ist.

Mit der Krümmung der Isothermen sind mechanische Spannungen im wachsenden Kristall verbunden, die als wichtigste Ursache für Kristalldefekte wie Versetzungen bekannt sind. Damit stellt sich für die Technologie der Züchtung hochwertiger, versetzungsarmer Kristalle die Aufgabe, die mechanischen Spannungen im Kristall und deshalb die Abweichung vom idealen, rein vertikalen Wärmefluss zu minimieren.

Ein Ansatz, um dieses Ziel zu erreichen, ist die Kompensation der Wärmeverluste durch eine die Ofenkernzone umgebende, nicht ideale thermische Isolation hindurch mit

...

einem oder mehreren Mantelheizern innerhalb dieser Isolation, die eine oder mehrere Heizzonen bilden.

Die Regelung der Temperaturen der Mantelheizer erfolgt im Falle mehrerer Heizzonen meist so, dass die Temperaturen in den einzelnen, vertikal übereinander liegenden Regelpunkten mit dem zum jeweiligen Züchtungszeitpunkt gewünschten vertikalen Temperaturprofil zusammenfallen. Allerdings wird aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Zuverlässigkeit des Ofens in der Regel eine minimale Zahl von Heizzonen angestrebt. Damit wird auch die Anpassung der Temperaturen der Mantelheizer an das gewünschte vertikale Temperaturprofil immer ungenauer.

Ein Ansatz, mit der Verwendung nur eines einzigen Mantelheizers dennoch einen streng axialen Wärmefluss im Kernbereich des Ofens zu erzielen, ist in DE 199 12 484 offen gelegt, die den gattungsbildenden Stand der Technik bildet. Dabei wird innerhalb des Mantelheizers ein zusätzlicher thermischer Isolator eingebracht, der einen radialen Wärmefluss selbst dort weitestgehend unterdrückt, wo radiale Temperaturdifferenzen zwischen der Kernzone und dem Mantelheizer auftreten. Dadurch wird der Prozess relativ unempfindlich gegen Variationen der Temperatur des Mantelheizers. Andererseits ist das Auffinden der zum jeweiligen Züchtungszeitpunkt optimalen Heizertemperatur nur indirekt, z. B. durch numerische Simulation des Wärmetransports im Ofen, möglich.

Aufgabe der Erfindung ist es somit, eine einfache Vorrichtung zur Herstellung von Einkristallen bereitzustellen, bei der stets eine fast ausschließlich axiale Wärmeführung gewährleistet ist.

Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe, dadurch dass zwischen dem Tiegel und dem Mantelheizer ein hohlzylin-

...

drischer Körper aus einem wärmeleitenden Material als Wärmebrücke vorhanden ist, dass wenigstens in einer den Mantelheizer und den Tiegel schneidenden Horizontalebene radial zueinander versetzt mindestens zwei Thermofühler zur Messung einer radialen Temperaturdifferenz angeordnet sind und dass die Heizleistung des Mantelheizers in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz geregelt ist.

Indem die Heizleistung so geregelt wird, dass die Temperaturdifferenz zu Null wird, ist es möglich, in der Kernzone eines Vertical-Bridgman- oder Vertical-Gradient-Freeze-Ofens einen radialen Wärmefluss weitestgehend zu unterdrücken.

Eine radiale Temperaturdifferenz zeigt eine nicht erwünschte radiale Wärmeflusskomponente in einer Heizzone an. Diese kann dort zum Verschwinden gebracht werden, in dem vom der Heizzone zugeordneten Mantelheizer ein entgegengerichteter Wärmefluss ausgeht, der den von der Kernzone ausgehenden Wärmefluss gerade kompensiert, was an einer zu Null werdenden Temperaturdifferenz zu erkennen ist. Wird daher die Heizleistung des Mantelheizers, innerhalb dessen sich das Thermofühler-Paar befindet, so geregelt, dass die radiale Temperaturdifferenz zu jedem Zeitpunkt gleich Null bleibt, so wird ein radialer Wärmefluss stets unterdrückt, ohne dass die Regelung des Mantelheizers auf eine ab initio bekannte Absoluttemperatur erforderlich ist.

Die Unteransprüche der vorliegenden Anmeldung geben vorteilhafte Ausführungen der Erfindung an. So kann es sich bei den Thermofühlern vorzugsweise um Thermoelemente handeln, die in Bohrungen des hohlzyndrischen Körpers angeordnet sind.

...

Eine Messgröße, die die Temperaturdifferenz angibt, erhält man in einfacher Weise dadurch, dass die Thermoelemente eines Thermofühler-Paares elektrisch gegeneinander geschaltet sind, so dass die Differenzspannung ein Maß für die Temperaturdifferenz bildet.

Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein Verfahren zur Regelung der Heizleistung eines Mantelheizers, der die zylindrische Kernzone eines Kristallzüchtungsofens, insbesondere eines Vertical-Bridgman- oder eines Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofens, umgibt.

Um zu erreichen, dass kein radialer Wärmefluss entsteht, wird die Heizleistung so eingestellt, dass die Temperatur des Mantelheizers auf die Temperatur in einem ausgewählten Punkt auf der Mittelachse des Tiegels geregelt wird.

Da diese Temperatur in der Regel nicht unmittelbar feststellbar ist, sieht die Erfindung vor, dass die Temperaturdifferenz zwischen zwei in einer den Mantelheizer und den Tiegel schneidenden Horizontalebene, radial zueinander versetzten Punkten innerhalb des Mantelheizers ermittelt wird und dass die ermittelte Temperaturdifferenz durch eine entsprechende Regelung der Heizleistung des Mantelheizers auf Null abgeglichen wird.

Wenn mehrere übereinanderliegende Heizzonen vorgesehen sind, die durch jeweils einen Mantelheizer definiert sind, so wird die Regelung der Heizzonen durch einen Mehrgrößenregler so ausgeführt, dass die Summe der Abweichungsquadrate der Temperaturdifferenzen von Null minimal wird.

Durch die Regelung der Mantelheizzonen eines Vertical-Bridgman- oder Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofens zum Abgleich der jeweiligen radialen Tempera-

...

turdifferenz in den Mantelheizzonen auf Null, wird unmittelbar das Ziel eines streng axialen Wärmeflusses in der Kernzone des Ofens erreicht, ohne dass zuvor ein Programm für den zeitlichen Verlauf der Heizertemperaturen errechnet werden muss.

Außerdem wird hier die Notwendigkeit der technisch schwierigen Messung sehr hoher Absoluttemperaturen durch die einfachere Messung von Temperaturdifferenzen ersetzt. Schließlich bilden bei der vorliegenden Erfindung die Mantelheizzonen mit ihrer Regelung eine völlig autarke Einheit, die im Züchtungsprogramm praktisch nicht mehr berücksichtigt werden muss. Dadurch reduziert sich das Züchtungsprogramm auf die Vorgabe des zeitlichen Verlaufs der Temperaturen am oberen und am unteren Rand der Kernzone des Ofens.

Im Folgenden soll anhand eines Ausführungsbeispiels die Erfindung näher erläutert werden. Dazu zeigen:

Fig. 1 eine schematische Querschnittsansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer sich vertikal erstreckenden Rotationsachse M und

Fig. 2 einen Diagramm zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Heizleistung und gemessener Temperaturdifferenz.

In Fig. 1 ist ein Beispiel für einen Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofen gezeigt, bei dem sich innerhalb eines Kessels 1 ein Hohlkörper 2 aus einem hochtemperaturbeständigen Material mittlerer Wärmeleitfähigkeit befindet, der den Tiegel 6 mit dem wachsenden Kristall 3, der Halbleiterschmelze 4 und einer Abdeckschmelze 5 beinhaltet. Der Ofen ist im Wesentlichen rotationssymmetrisch

...

zu einer vertikalen Rotationsachse M ausgebildet. Unterhalb und oberhalb der Kernzone des Ofens befindet sich ein Bodenheizer 10 bzw. ein Deckelheizer 13. Umgeben wird die Kernzone von Mantelheizern 11 und 12, die vom wassergekühlten Kessel 1 durch eine thermische Isolation 20 getrennt sind. Bei einem konventionellen Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofen sind alle Heizer temperaturgeregelt. Dazu werden die Thermospannungen von Regelthermoelementen 30, 31, 32, 33 in einer Steuerungseinheit 40 erfasst und die Stellgrößen der einzelnen Heizleistungen errechnet. Dann werden durch die Steuerungseinheit 40 die Sollwerte für die Heizleistungen vorgegeben, die durch eine elektrische Leistungsversorgung 41 bereitgestellt werden. Während des Prozessablaufs werden zu jedem Züchtungszeitpunkt die Sollwerte für die einzelnen Heizertemperaturen aus einem vorausberechneten Prozessprogramm übernommen.

Zum Auskristallisieren der Schmelze werden der Bodenheizer 10 und der Deckelheizer 13 derart angesteuert, dass der Deckelheizer 13 auf einer in etwa der Schmelztemperatur des zu verarbeitenden Rohmaterials gehalten wird und der Bodenheizer 10 zunächst auf eine geringere Temperatur gebracht wird. Danach wird die Temperatur des Bodenheizers 10 im Vergleich zur Temperatur des Deckelheizers 13 während des Züchtungsprozesses kontinuierlich abgesenkt, so dass die Schmelze in dem Tiegel 6 kontinuierlich von unten nach oben erstarrt kann, wobei die Phasengrenze zwischen dem schon auskristallisierten und dem noch geschmolzenen Material horizontal, also senkrecht zur Rotationsachse M verlaufen soll.

Gemäß der vorliegenden Erfindung sind die Regelthermoelemente 32 und 33 für die Mantelheizer 11 und 12 in vertikalen Bohrungen im Hohlkörper 2 in der Kernzone des Ofens positioniert, der z. B. aus Graphit einer mittleren Wär-

...

meleitfähigkeit zwischen 10 und 50 W/mK besteht. Zusätzlich zu diesen Thermoelementen sind in zwei horizontalen Bohrungen im Hohlkörper 2 weitere Thermoelemente 34 und 35 so positioniert, dass diese gegenüber den zuerst genannten Thermoelementen 32, 33 jeweils in einem Abstand in der Größenordnung von einigen Zentimetern radial nach innen versetzt sind. Jedes radial außen liegende Thermoelement 32, 33 bildet mit einem in derselben Ebene radial innen liegenden Thermoelement 34, 35 ein Paar. Die Ebene, in der das jeweilige Paar liegt, befindet sich dabei vorzugsweise in etwa auf halber Höhe eines jeden Wandheizers 11, 12, so dass eine mittlere Temperaturdifferenz für die jeweilige Heizzone ermittelt wird.

Die Thermospannungen der Thermoelemente 32, 35; 33, 34 können entweder jeweils einzeln von den entsprechenden Komponenten der Steuerungseinheit 40 eingelesen und dann die Temperaturdifferenzen zwischen den Thermoelementen eines Paares 32, 35 bzw. 33, 34 berechnet werden, oder die Thermoelemente 32, 35; 33, 34 können paarweise so gegeneinander geschaltet werden, dass sich bei Gleichheit der Temperaturen der Thermoelemente 33 und 34, die zum unteren Mantelheizer 11 gehören, sowie der Thermoelemente 32 und 35, die zum oberen Mantelheizer 12 gehören, jeweils eine Gesamtspannung von Null ergibt.

Erhöht man nun z. B. die Heizleistung des oberen Mantelheizers 12 zu einem beliebigen Züchtungszeitpunkt auf einen Wert, bei dem die Heizertemperatur deutlich höher liegt als die Temperatur auf einem mittleren Punkt der Ofenachse M innerhalb des Mantelheizers 12, dann entsteht innerhalb des Mantelheizers 12 eine nach innen gerichtete radiale Wärmeflusskomponente und damit auch eine positive Temperaturdifferenz zwischen den oberen Thermoelementen 33, 34. Dies verdeutlicht das Diagramm der Fig. 2.

...

Senkt man die Heizleistung des oberen Mantelheizers 12 zu einem beliebigen Züchtungszeitpunkt auf einen Wert, bei dem die Heizertemperatur deutlich niedriger liegt als die Temperatur auf dem ausgewählten Punkt der Ofenachse M innerhalb des Mantelheizers 12, dann entsteht innerhalb des Mantelheizers 12 eine nach außen gerichtete radiale Wärmeflusskomponente und damit eine negative Temperaturdifferenz zwischen den oberen Thermoelementen 33, 34.

Diese Korrelation zwischen der Heizleistung  $P_{12}$  des Mantelheizers 12 und der Temperaturdifferenz  $T_{33} - T_{34}$  zwischen den oberen Thermoelementen 33, 34 wird nun zur Regelung der Heizleistung  $P_{12}$  verwendet, wobei der Sollwert für die Temperaturdifferenz  $T_{33} - T_{34}$  auf Null festgelegt wird. Dadurch stellt sich zu jedem Züchtungszeitpunkt die optimale Heizleistung  $P_{opt}$  des Mantelheizers 12 ein, bei der die radiale Wärmeflusskomponente in der Umgebung der Thermoelemente 33, 34 verschwindet. In völlig analoger Weise wird die Heizleistung des Mantelheizers 11 durch die Temperaturdifferenz der unteren Thermoelemente 32 und 35 geregelt.

Die Erfindung kann grundsätzlich zu jeder Heizleistungsregelung in einem Hochtemperaturofen zur Züchtung von Kristallen verwendet werden, bei der das Ziel verfolgt wird, lokal eine Raumkomponente des Wärmeflusses zu Null werden zu lassen. Voraussetzung ist jedoch, dass ein Heizer (und damit ein Freiheitsgrad) zur Verfügung steht, dessen Absoluttemperatur keine sonstige Bedeutung für den Prozess hat. Im Fall der Czochralski-Kristallzüchtung könnte dies z. B. ein Zusatzheizer in der Kristallumgebung sein, mit dessen Hilfe ein bestimmtes Temperaturprofil im Kristall zur Optimierung des Punktdefekthaushalts eingestellt wird.

...

### Bezugszeichenliste

- 1 Kessel
- 2 Hohlkörper
- 3 Kristall
- 4 Halbleiterschmelze
- 5 Abdeckschmelze
- 6 Tiegel
  
- 10 Bodenheizer
- 11 unterer Mantelheizer
- 12 oberer Mantelheizer
- 13 Deckelheizer
  
- 20 thermische Isolation
  
- 30 Thermoelement (Deckel)
- 31 Thermoelement (Boden)
- 32 Thermoelement (unten, außen)
- 33 Thermoelement (oben, außen)
- 34 Thermoelement (oben, innen)
- 35 Thermoelement (unten, innen)
  
- 40 Steuerungseinheit
- 41 Leistungsversorgung

## Patentansprüche

1. Kristallzüchtungsofen, insbesondere Vertical-Bridgman- oder Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofen mit einem den Tiegel (6) koaxial umgebenden Mantelheizer (11, 12) und einer Vorrichtung zur Regelung der Heizleistung des Mantelheizers (11, 12), **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem Tiegel (6) und dem Mantelheizer (11, 12) ein hohlzylindrischer Körper (2) aus einem wärmeleitenden Material als Wärmebrücke vorhanden ist, dass wenigstens in einer den Mantelheizer (11, 12) und den Tiegel (6) schneidenden Horizontalebene radial zueinander versetzt mindestens zwei Thermofühler (32, 35; 33, 34) zur Messung einer radialen Temperaturdifferenz angeordnet sind und dass die Heizleistung des Mantelheizers (11, 12) in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz geregelt ist.
2. Kristallzüchtungsofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei in axialer Richtung beabstandete Mantelheizer (11, 12) vorgesehen sind, deren Heizleistungen unabhängig voneinander einstellbar sind und dass jedem Mantelheizer (11, 12) ein Thermofühler-Paar (32, 35; 33, 34) zugeordnet ist.
3. Kristallzüchtungsofen nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der hohlzylindrische Körper (2) über mindestens zwei Bohrungen verfügt, in denen radial zueinander versetzt mindestens zwei Thermoelemente (32, 35; 33, 34) die Messung einer radialen Temperaturdifferenz im hohlzylindrischen Körper ermöglichen und dass eine elektrische Größe, die diese radiale Temperaturdifferenz im hohlzylindrischen Körper (2) repräsentiert,

...

tiert, einer Regeleinrichtung für die Heizleistung des Mantelheizers (11, 12) zugeführt wird.

4. Kristallzüchtungsofen nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Bohrung für das radial außen liegende Thermoelement (32, 33) in radialer Richtung und die Bohrung für das radial innen liegende Thermoelement (35, 34) in axialer Richtung liegt.

5. Kristallzüchtungsofen nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Thermoelemente (32, 35; 33, 34) eines Paares elektrisch gegeneinander geschaltet sind, so dass die Differenzspannung ein Maß für die Temperaturdifferenz bildet.

6. Verfahren zur Regelung der Heizleistung eines Mantelheizers (11, 12), der die zylindrische, einen Tiegel (6) aufweisenden Kernzone eines Kristallzüchtungsofens, insbesondere eines Vertical-Bridgman- oder eines Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofens, umgibt, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Mantelheizers (11, 12) auf die Temperatur in einem ausgewählten Punkt auf der Mittelachse des Tiegels (6) geregelt wird.

7. Verfahren zur Regelung der Heizleistung eines Mantelheizers (11, 12), dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturdifferenz zwischen zwei in einer den Mantelheizer (11, 12) und den Tiegel (6) schneidenden Horizontalebene, radial zueinander versetzten Punkten innerhalb des Mantelheizers (11, 12) ermittelt wird und dass die ermittelte Temperaturdifferenz durch eine entsprechende Regelung der Heizleistung des Mantelheizers (11, 12) auf Null abgeglichen wird.

8. Verfahren zur Regelung der Heizleistung eines Mantelheizer (11, 12) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeich-

...

net, dass der Kristallzüchtungsofen mit mehreren übereinanderliegende Heizzonen versehen ist, die durch jeweils einen Mantelheizer (11, 12) definiert sind, und dass die Regelung der Heizleistung der Mantelheizer (11, 12) der einzelnen Heizzonen durch einen Mehrgrößenregler so ausgeführt wird, dass die Summe der Abweichungsquadrate der in der jeweiligen Heizzone herrschenden Temperaturdifferenzen minimal wird.

9. Verfahren zur Regelung der Heizleistung eines Mantelheizers (11, 12) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturmessung mit Thermoelementen (32, 35; 33, 34) erfolgt.

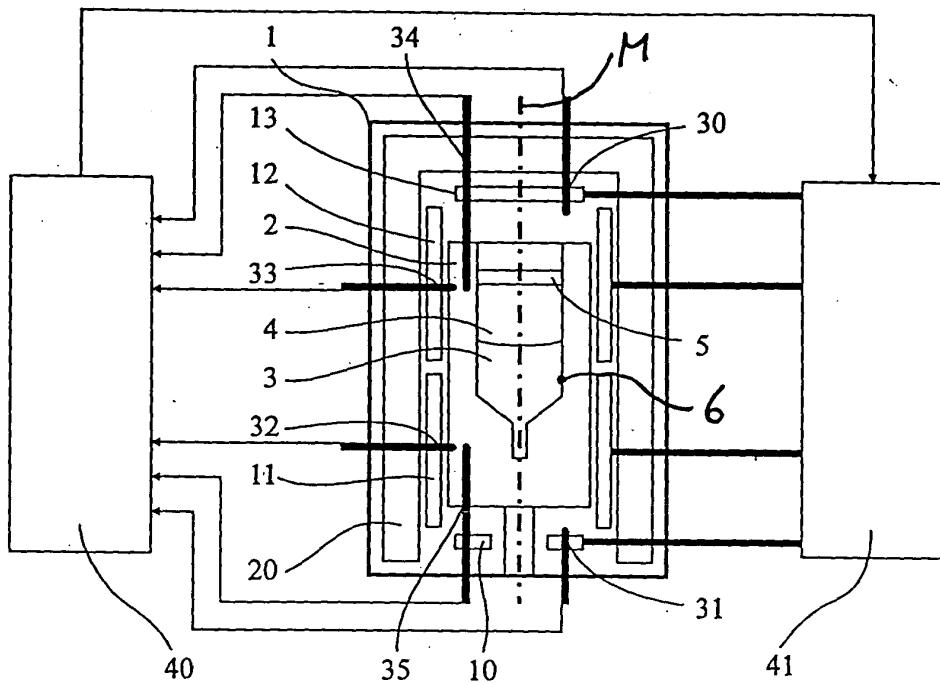
## Zusammenfassung

### **Kristallzüchtungsofen, insbesondere Vertical-Bridgman- oder Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofen mit einem Mantelheizer und Verfahren zur Regelung der Heizleistung des Mantelheizers**

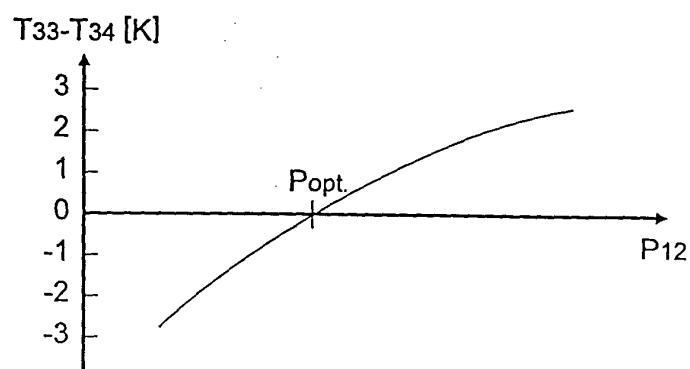
Die Erfindung beruht auf dem Problem, bei einem Vertical-Bridgman- oder Vertical-Gradient-Freeze-Kristallzüchtungsofen zum Auskristallisieren der Halbleiterschmelze (4) eine möglichst ebene, sich in horizontaler Richtung erstreckende Phasengrenze zwischen dem noch geschmolzenen und dem schon auskristallisierten Material mit geringem Aufwand zu erzielen.

Es werden daher Mantelheizer (11, 12) koaxial zum den Tiegel (6) aufweisenden Ofenkern und Messeinrichtungen zur Bestimmung von radialen Temperaturdifferenzen im Raum zwischen den Mantelheizern (11, 12) und dem Tiegel (6) vorgesehen, wobei die Heizleistung der Mantelheizer (11, 12) so eingestellt wird, dass die gemessenen Temperaturdifferenzen zu Null werden. Somit wird zumindest in den Ebenen, in denen sich die Messeinrichtungen befinden, ein radialer Wärmetransport verhindert und eine nicht gekrümmte Phasengrenze realisiert.

(Fig. 1)



*Fig. 1*



*Fig. 2*